

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour
le classement et les
commandes de reproduction).

2.201.444

(21) N° d'enregistrement national
(A utiliser pour les paiements d'annuités,
les demandes de copies officielles et toutes
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

72.33672

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

1^{re} PUBLICATION

- (22) Date de dépôt 22 septembre 1972, à 15 h 12 mn.
(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 17 du 26-4-1974.
- (51) Classification internationale (Int. Cl.) F 25 b 49/00//F 25 j 1/00.
- (71) Déposant : Société dite : SOCIÉTÉ DES PROCÉDÉS L'AIR LIQUIDE ET TECHNIP DE LIQUÉFACTION DES GAZ NATURELS (TEAL), résidant en France.
- (73) Titulaire : *Idem* (71)
- (74) Mandataire :
- (54) Procédé de réglage de la quantité de froid délivrée par une installation frigorifique.
- (72) Invention de : Jean Bourguet et Joseph Gauberthier.
- (33) (32) (31) Priorité conventionnelle :

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention - 75732 PARIS CEDEX 15

La présente invention concerne un procédé de réglage de la quantité de froid délivrée par une installation frigorifique. L'invention se rapporte plus particulièrement à une installation frigorifique permettant de refroidir, liquéfier et éventuellement sous-refroidir un gaz, notamment un gaz naturel .

5 L'invention vise plus spécifiquement une installation frigorifique de liquéfaction d'un gaz, mettant en oeuvre le cycle frigorifique connu sous le nom de " cycle à cascade incorporée ".

Une telle installation comporte en général :

- 10 - un moyen de compression comprenant au moins un étage de compression, dont l'aspiration et le refoulement fonctionnent respectivement sous une basse pression et une haute pression, permettant de comprimer au moins un mélange de cycle sous forme gazeuse, en au moins une étape de compression.
- 15 - un condenseur dont l'entrée communique avec le refoulement du compresseur, et comportant des moyens de circulation pour un réfrigérant externe, permettant de condenser initialement et partiellement au moins le mélange de cycle comprimé, par échange de chaleur avec le dit réfrigérant externe.
- 20 - une pluralité de séparateurs disposés en série, comportant chacun une entrée, une sortie liquide et une sortie gazeuse, l'entrée du premier séparateur communiquant avec la sortie du condenseur, afin de séparer dans le dit séparateur la fraction condensée initiale obtenue lors de la condensation partielle initiale,
- 25 - un ensemble d'échange de chaleur comprenant une pluralité de conduits de condensation disposés en série dont l'entrée communique avec la sortie gazeuse d'un séparateur et dont la sortie communique avec l'entrée du séparateur suivant, un passage de vaporisation en relation d'échange thermique avec lesdits conduits de condensation, permettant d'effectuer, en coopération avec la pluralité de séparateurs, une condensation fractionnée sous la haute pression d'au moins le mélange de cycle résiduel, séparé de la fraction condensée initiale, circulant dans les dits conduits de condensation en échange de chaleur à contre-courant avec un courant frigorigène du mélange de cycle, parcourant le dit passage de vaporisation, et en cours de vaporisation sous une pression de vaporisation au moins égale à la basse pression, la pluralité de séparateurs permettant de recueillir et séparer la pluralité d'autres fractions condensées résultant de cette condensation fractionnée,
- 35 - une pluralité de moyens de détente dont l'amont communique avec la sortie liquide d'un séparateur et dont l'aval communique avec le passage de vaporisation, permettant de détendre au moins une partie de chaque dite autre fraction condensée de la dite haute pression à la dite pression de vaporisation, et de réunir la dite partie détendue au dit courant frigorigène,
- 40 - un conduit de retour dont l'amont communique avec le passage de vaporisa-

tion et dont l'aval communique avec une entrée gazeuse du moyen de compression sous la pression de vaporisation, permettant de recomprimer à la haute pression au moins le dit courant frigorigène vaporisé du mélange de cycle.

5 Le réfrigérant externe assurant la condensation partielle initiale d'au moins le mélange de cycle peut être soit de l'eau (eau de mer par exemple) en cours de réchauffement, soit un réfrigérant (propane par exemple) en cours de vaporisation, ayant été au préalable comprimé, condensé, et détendu à une pression de vaporisation, dans un cycle frigorifique distinct.

10 L'installation frigorifique précédemment décrite peut mettre en oeuvre un cycle frigorifique de type ouvert ou fermé. Dans le cas d'un cycle fermé, par exemple pour liquéfier un gaz naturel, ce dernier circule dans un passage de condensation disposé dans l'ensemble d'échange de chaleur, en relation d'échange thermique avec le passage de vaporisation, distinct des conduits de condensation. Le courant frigorigène du mélange de cycle est va-
15 porisé par échange de chaleur à contre-courant avec le gaz naturel en cours de condensation et le mélange de cycle en cours de condensation fractionnée. Dans le cas d'un cycle ouvert, toujours pour liquéfier du gaz naturel, ce dernier est comprimé avec le mélange de cycle ou réuni à ce dernier sous la haute pression, puis parcourt les passages de condensation de l'ensemble
20 d'échange de chaleur en mélange avec le mélange de cycle, Le courant frigorigène du mélange de cycle est donc toujours vaporisé en échange de chaleur à contre-courant avec le mélange de cycle et le gaz naturel. En fin de la condensation fractionnée, on sépare à nouveau du mélange de cycle le gaz naturel condensé.

25 De tels cycles frigorifiques ont fait l'objet du brevet français 1.302.989, de son premier certificat d'addition 80.294, et de son certificat d'addition 86.485.

30 Selon le brevet français 1.516.728, un tel cycle comporte deux pressions de vaporisation distinctes, sous lesquelles le mélange de cycle est vaporisé respectivement par échange de chaleur avec le mélange de cycle en cours de condensation fractionnée, et par échange de chaleur avec un fluide dont on veut extraire de la chaleur, tel qu'un gaz naturel à liquéfier. Ce cycle sera appelé ci-après " cycle à deux pressions ".

35 Dans une installation frigorifique selon le brevet français 1.516.728:

40 - le moyen de compression comprend un premier étage et un second étage de compression, reliés entre eux par un conduit de liaison sous une pression intermédiaire, ce qui permet de comprimer le mélange de cycle en deux étapes de compression, séparées par une pression intermédiaire compris entre la haute pression et la bass pression.

- 1 conduit de retour communique avec l'entrée du second étage de compression, ce qui permet d'effectuer la condensation fractionnée du mélange de cycle résiduel par échange de chaleur avec le courant frigorigène sous une pression de vaporisation substantiellement égale à la pression intermédiaire.

5 En outre une telle installation frigorifique comprend :

- un autre ensemble d'échange de chaleur comprenant un passage de condensation en relation d'échange thermique avec un autre passage de vaporisation, permettant d'extraire de la chaleur d'un fluide externe, ou de condenser par exemple un gaz naturel, par échange de chaleur de ce dernier parcourant le
10 dit passage de condensation, avec un autre courant frigorigène du mélange d cycle parcourant le dit autre passage de vaporisation, et en cours de vaporisation sous une autre pression de vaporisation substantiellement égale à la basse pression,

- une autre pluralité de moyens de détente dont l'amont communique avec la
15 sortie liquide d'un séparateur et dont l'aval communique avec l'autre passage de vaporisation, permettant de détendre à la basse pression une autre partie de chaque autre fraction condensée obtenue lors de la condensation fractionnée et de réunir chaque dite autre partie au dit autre courant frigorigène.

- un autre conduit de retour dont l'amont communique avec l'autre passage
20 de vaporisation et dont l'aval communique avec l'aspiration du moyen de compression, permettant de recomprimer le dit autre courant frigorigène vaporisé de la basse pression à la pression intermédiaire, puis ce dernier avec ledit courant frigorigène vaporisé de la pression intermédiaire à la haute
25 pression.

En fonctionnement, une installation frigorifique, du type de celle décrite précédemment, délivre une quantité de froid distribuée selon un gradient donné de températures. Par exemple, dans le cas d'une installation mettant en oeuvre un cycle à deux pressions, employée pour liquéfier du gaz naturel, l'autre courant frigorigène du mélange de cycle, circulant dans l'autre
30 passage de vaporisation de l'autre ensemble d'échange de chaleur, apporte par sa vaporisation et son réchauffement progressif, s'effectuant depuis une température froide jusqu'à une température chaude, la quantité de froid nécessaire pour refroidir, condenser et éventuellement sous-refroidir le gaz naturel, depuis la température chaude jusqu'à la température froide.
35

La souplesse requise pour le fonctionnement d'une installation frigorifique, exige que l'on puisse régler la quantité de froid délivrée dans la zone de travail de cette dernière, comprise entre la température chaude (généralement température ambiante) et la température froide (température
40 la plus froide obtenue). Ainsi en régime permanent, il est souvent nécessaire

de pouvoir faire varier la quantité de froid délivrée entre une quantité maximum et une quantité minimum, pour adapter cette dernière à la quantité de chaleur injectée dans l'installation variant sensiblement dans les mêmes limites. De même en régime transitoire (arrêt ou démarrage de l'installation),

5 il est impératif de pouvoir faire varier la quantité de froid délivrée entre une quantité initiale nulle et une quantité finale correspondant au régime permanent. Par exemple dans le cas d'une installation de liquéfaction de gaz naturel, si le débit traité est susceptible de varier depuis un débit nul jusqu'à un débit maximum, il est impératif d'adapter la quantité de froid

10 délivrée à la quantité de chaleur variable, injectée par la circulation du gaz naturel dans l'installation.

Pour une installation frigorifique du type ci-dessus, délivrant une quantité importante de frigories, notamment pour liquéfier du gaz naturel, le moyen de compression est en général un compresseur de type axial ou centrifuge. S'il est possible de faire varier le débit aspiré de mélange de cycle,

15 soit en faisant varier la vitesse de rotation du compresseur, soit en modifiant la position des aubes directrices du stator dans le cas d'un compresseur axial, la souplesse ainsi obtenue demeure très limitée. Par conséquent, par exemple si l'on diminue le débit de mélange de cycle aspiré par un compresseur axial ou centrifuge, afin de faire varier la quantité frigorifique délivrée par l'installation, il devient très rapidement impossible de diminuer le débit aspiré sans atteindre le régime de pompage du compresseur. On est donc

20 conduit à la solution définie ci-dessous.

Afin de pouvoir régler la quantité de froid délivrée par une installation frigorifique envisagée par l'invention, cette dernière comprend en outre au moins un circuit de recyclage comportant au moins un moyen de détente à débit variable dont l'amont communique avec une sortie gazeuse du moyen de compression sous une pression supérieure au plus égale à la haute pression et dont l'aval communique avec une entrée gazeuse du moyen de compression sous une pression inférieure au moins égale à la basse pression.

30 Ce circuit de recyclage est disposé en général autour et à la proximité immédiate du moyen de compression, c'est-à-dire dans la partie de l'installation à température ambiante. Il est ainsi possible de régler au moins un débit de recyclage prélevé sur au moins le mélange de cycle sous la dite pression supérieure avant ou après refroidissement préalable, puis successivement détendu au moins en partie à la dite pression inférieure, et de recomprimer ce débit avec le courant frigorigène vaporisé. On parvient ainsi à régler la quantité de mélange de cycle circulant dans la partie froide de l'installation et, par conséquent, la quantité de froid délivrée, et ceci sans atteindre

35 le régime de pompage du compresseur.

40

Lorsque l'on règle la quantité de froid délivrée par l'installation frigorifique en faisant varier un débit de recyclage autour du compresseur, au moins une partie de la puissance délivrée par le compresseur se trouve alors dissipée dans le circuit de recyclage sous forme thermique, vibratoire, etc....

5 Si cette dissipation d'énergie dans le circuit de recyclage ne pose en général aucun problème particulier dans le cas d'une installation frigorifique de faible puissance frigorifique, il a été découvert qu'il n'en est plus de même à partir de fortes puissances frigorifiques, et cela notamment dans le cas d'installations de liquéfaction de gaz naturel de grande capacité. 10 Autrement dit il a été trouvé qu'à partir d'une certaine capacité d'une installation de liquéfaction gaz naturel, il est impératif d'apporter une solution à de nouveaux problèmes résultant de l'effet de taille de l'installation frigorifique.

En effet, d'une part, une augmentation de la capacité d'une installation de liquéfaction de gaz naturel signifie que la puissance dissipée dans le circuit de recyclage peut être extrêmement importante. Ainsi par exemple, pour une installation liquéfiant un débit nominal de 6.500 m³/jour de gaz naturel liquide, la puissance de compression mise en oeuvre est de l'ordre de 66 mégawatts pour la production nominale, et de 80 mégawatts pour une production maximum supérieure à la production nominale. Il en résulte qu'en cas de recyclage, la puissance dissipée dans le circuit de recyclage peut être 20 extrêmement importante. Le circuit de recyclage est donc en particulier soumis à des vibrations considérables, et la fatigue du métal en résultant peut conduire très rapidement à une rupture des équipements.

25 D'autre part, ce danger de rupture se trouve encore accentué par le nouveau problème suivant. Du fait de l'augmentation de la capacité d'une installation de liquéfaction de gaz naturel, les différents équipements de cette dernière deviennent plus volumineux. Il en est ainsi des différents conduits de recyclage de l'installation. Ainsi la compacité des tuyauteries, 30 pouvant être caractérisée par le rapport de leur rayon sur leur épaisseur, qui n'excédait pas 20 autrefois, peut atteindre 75 pour des capacités importantes. Il en résulte que la masse métallique par unité de volume du circuit de recyclage, devient trop faible pour supporter des efforts de vibration importants. Ce phénomène amplifie donc l'inconvénient signalé ci-dessus.

35 Par conséquent, l'augmentation de la capacité d'une installation de liquéfaction de gaz naturel, amène donc les composants métalliques mis en oeuvre, et particulièrement le ou les circuits de recyclage dans une nouvelle zone de travail dans laquelle il est impératif de prendre en compte de nouveaux phénomènes physiques jamais rencontrés auparavant pour ce type d'installation, 40 à savoir des phénomènes d'aéroélasticité bien connus en aviation. Par consé-

quent, pour des capacités importantes, les équipements de recyclage comportent comme des coques minces et sont en général soumis à une fatigue destructrice.

5 Dans le cadre d'un mode de réglage de la quantité de froid délivrée par une installation frigorifique, tel que décrit précédemment, la présente invention a pour objet d'améliorer ce mode de réglage, de façon à ce que l'augmentation de la puissance frigorifique nominale d'une telle installation n'implique pas des risques de rupture des équipements de recyclage.

10 Selon l'invention, pour une installation frigorifique telle que discutée précédemment, on réunit le débit de recyclage détendu à la pression de vaporisation, au courant frigorigène, au plus tard lorsque l'on réunit à ce dernier au moins une partie de la fraction condensée initiale détendue à la pression de vaporisation. Par conséquent, selon l'invention, l'aval du moyen de détente du circuit de recyclage communique avec le passage de vaporisation réservé au courant frigorigène en cours de vaporisation.

15 L'invention apporte les avantages suivants. Premièrement, en repoussant la jonction de la partie du circuit de recyclage sous la pression de vaporisation, avec le circuit du courant frigorigène sous ladite pression de vaporisation (passage de vaporisation et conduit de retour), le plus loin possible dans la partie froide de l'installation frigorifique, au moins une partie du passage de vaporisation et le conduit de retour se trouvent intégrés dans le circuit de recyclage. Une partie importante de la masse métallique totale de l'installation, participe donc à la dissipation d'énergie vibratoire résultant du recyclage.

25 Deuxièmement, puisque le circuit de recyclage selon l'invention inclut la dernière partie du passage de vaporisation, dans laquelle la fraction condensée initiale est vaporisée dans le courant frigorigène, l'énergie thermique dissipée, résultant de recyclage, est absorbée par le mélange de cycle et transférée par ce dernier, après compression, au réfrigérant externe. L'énergie thermique dissipée, au lieu de réchauffer directement l'installation, est donc au contraire récupérée et évacuée de cette dernière.

30 La présente invention est maintenant décrite par référence aux dessins annexés dans lesquels :

35 - la figure 1 représente schématiquement une installation de liquéfaction de gaz naturel, permettant de liquéfier environ, 1,5 milliards de mètres cubes de gaz naturel par an, soit environ 187.000 Nm³/h de gaz naturel, mettant en oeuvre un cycle à cascade incorporée à deux pressions.

40 - la figure 2 représente les variations du débit total recyclé autour du compresseur mis en oeuvre dans l'installation représentée en figure 1, en fonction du débit de gaz naturel liquéfié.

- 5 L'installation frigorifique représentée en figure 1 comprend tout d'abord un moyen de compression 1 (compresseur axial) entraîné par une turbine à vapeur 2, comprenant un premier étage de compression 3 et un second étage de compression 4, reliés entre eux par un conduit de liaison 5, sous une pression intermédiaire entre la basse pression et la haute pression, sous lesquelles fonctionnent respectivement l'aspiration et le refoulement du moyen de compression 1 (respectivement entrée de l'étage 3 et sortie de l'étage 4). Un refroidisseur est disposé sur le conduit de liaison 5.
- 10 Un condenseur 7 a une entrée communiquant avec le refoulement du moyen de compression 1 par l'intermédiaire d'un conduit 8 sur lequel est disposé un refroidisseur 9. Le condenseur 7 comporte des moyens de circulation pour un réfrigérant externe tel que de l'eau.
- 15 Une pluralité de séparateurs, 10,11,12, disposés en série, comportent chacun une entrée repérée par l'indice a, une sortie liquide repérée par l'indice b, et une sortie gazeuse repérée par l'indice c. L'entrée 10 a du premier séparateur 10 communique avec la sortie du condenseur 7.
- 20 Un ensemble d'échange de chaleur, repéré par 13, comprend un premier échangeur 14 et un second échangeur 15. Cet ensemble d'échange de chaleur 13 comprend une pluralité de conduits de condensation 16,17 et 18 disposés en série. Le premier conduit 16 est disposé dans l'échangeur 14 tandis que les conduits 17 et 18 sont disposés dans l'échangeur 15. L'entrée de
- 25 chaque conduit de condensation, repérée par l'indice a, communique avec la sortie gazeuse d'un séparateur: sortie gazeuse 10 c avec entrée 16 a, sortie gazeuse 11 c avec entrée 17 a, sortie gazeuse 12 c, avec entrée 18 a. La sortie des deux premiers conduits de condensation 16 et 17 communique avec l'entrée du séparateur suivant: sortie 16 b avec entrée 11 a, sortie 17 b
- 30 avec entrée 12 a. L'ensemble d'échange de chaleur 13 comprend un passage de vaporisation comprenant l'intérieur (côté calandre) de l'échangeur 15, le conduit de liaison 71, et l'intérieur de l'échangeur 14 (côté calandre) en relation d'échange thermique avec les conduits de condensation 16,17,et 18.
- 35 L'installation comprend un autre ensemble d'échange de chaleur 22 comprenant un premier échangeur 23 et un second échangeur 24. Cet ensemble comprend un passage de condensation comportant un conduit 25 disposé dans l'échangeur 24, un conduit de liaison 26 entre les échangeurs 23 et 24, un conduit 27 disposé dans l'échangeur 23. Ce passage de condensation est en
- 40 relation d'échange thermique avec un autre passage de vaporisation, défini

par l'intérieur de l'échangeur 23 (côté calandre), le conduit de liaison 28
t l'intérieur de l'échangeur 24 (côté calandre).

5 L'installation comprend également une pluralité de moyens de dé-
tente 19,20 et 21, et une autre pluralité de moyens de détente 29,30 et 31.
L'amont des moyens de détente communique avec la sortie liquide d'un sépa-
rateur : sortie liquide 10 b avec la vanne de détente 19, sortie liquide 11 b
avec à la fois la vanne de détente 20 et 29, sortie liquide 12 b avec à la
fois la vanne de détente 21 et la vanne de détente 30. Seul l'amont de la
10 vanne de détente 31 communique uniquement avec la sortie 18 b du conduit
de condensation 18. L'aval des moyens de détente 19,20 et 21 communique avec
le passage de vaporisation de l'ensemble 13 d'échange de chaleur. L'aval des
moyens de détente 29,30 et 31 communique avec le passage de vaporisation de
l'autre ensemble 22 d'échange de chaleur.

15 L'amont et l'aval d'un conduit de retour 32 communiquant respec-
tivement avec le passage de vaporisation de l'ensemble 13 d'échange de
chaleur, et plus précisément avec l'intérieur de l'échangeur 14, et avec
l'entrée du second étage de compression 4 du moyen de compression 1, sous la
20 pression intermédiaire. L'amont et l'aval d'un autre conduit de retour 33
communiquent respectivement avec l'autre passage de vaporisation de l'autre
ensemble d'échange de chaleur 22, et plus précisément avec l'intérieur de
l'échangeur 24, et avec l'aspiration du moyen de compression 1, c'est à dire
avec l'entrée du premier étage de compression 3 sous basse pression.

25 Pour décrire le fonctionnement du cycle à deux pression, repré-
senté en figure 1, on exprime les débits en tonnes métriques par heure (t/h),
les pressions en atmosphères absolues (ata, 1 ata = 1,013 bar), les tempé-
ratures en degrés celsius (°C).

30 Une première partie d'un mélange de cycle, arrivant par le con-
duit de retour 33, ayant un poids moléculaire de 29 et comprenant du méthane,
de l'azote, de l'éthane, du propane, du butane et du pentane, est comprimée
sous forme gazeuse dans le premier étage 3 de compression, d'une basse
35 pression de 1,5 ata, à une pression intermédiaire de 5,5 ata. Puis cette
première partie comprimée, et une deuxième partie du mélange de cycle, arri-
vant par le conduit de retour 32, ayant un poids moléculaire de 34 et compre-
nant les mêmes constituants que précédemment, sont comprimées ensemble,
sous forme gazeuse, dans le second étage 4 de compression, à une haute
40 pression de 38 ata. La première partie du mélange de cycle, sous la pression

intermédiaire, a été au préalable refroidie dans le refroidisseur 6.

5 Le mélange de cycle comprimé est refroidi dans le refroidisseur 9, puis condensé initialement et partiellement dans le condenseur 7, par échange de chaleur avec un réfrigérant externe. On sépare alors dans le premier séparateur 10 une fraction condensée initiale. La totalité de cette fraction, soit 340 t/h, est alors détendue dans la vanne de détente 19, et réunie à un courant frigorigène circulant à l'intérieur de l'échangeur 14 (passage de vaporisation de l'ensemble 13 d'échange de chaleur).

10

15 Le mélange de cycle résiduel, sous la haute pression, séparé de la fraction condensée initiale dans le séparateur 10, est alors soumis à une condensation fractionnée dans l'ensemble d'échange de chaleur 13, coopérant avec les deux séparateurs 11 et 12. Le mélange de cycle résiduel est condensé de façon fractionnée, successivement dans les conduits de condensation 16, 17 et 18, par échange de chaleur à contre-courant avec un courant frigorigène circulant dans le passage de vaporisation défini précédemment, en cours de vaporisation sous une pression de vaporisation, substantiellement égale à la pression intermédiaire (5,5 ata). On sépare alors une première
20 autre fraction condensée et une deuxième autre fraction condensée, respectivement à la sortie 16 b du premier conduit de condensation 16 et à la sortie 17 b du deuxième conduit de condensation 17, recueillies respectivement dans le deuxième séparateur 11, sous une température de - 22°C et le troisième séparateur 12, sous une température de - 80 °C. La troisième
25 autre fraction condensée sous une température de - 130 °C n'est pas séparée mais évacuée directement de l'ensemble d'échange de chaleur 13.

30 On détend une première partie (170t/h) et une seconde partie (272 t/h) de la première autre fraction condensée recueillie dans le séparateur 11, respectivement à la pression intermédiaire dans le moyen de détente 20, et à la basse pression dans le moyen de détente 29. On réunit ladite partie sous pression intermédiaire au courant frigorigène vaporisé circulant dans le passage de vaporisation de l'ensemble 13 d'échange de chaleur, et ladite autre partie sous basse pression à un autre courant
35 frigorigène circulant dans l'autre passage de vaporisation de l'ensemble d'échange de chaleur 22. On effectue les mêmes opérations pour une première partie (135 t/h) et une seconde partie (54 t/h) de la seconde autre fraction condensée recueillie dans le séparateur 12, détendue respectivement dans les moyens de détente 21 et 30, correspondant respectivement aux
40 moyens de détente 20 et 29. La totalité de la troisième fraction condensée

(46t/h.) est détendue dans 1 moyen de détente 31 à la basse pression et introduite dans le passage de vaporisation de l'ensemble d'échange de chaleur 22, à la partie supérieure de l'échangeur 23.

5 L'introduction d'au moins une partie des différentes fractions condensées dans le passage de vaporisation de l'ensemble 13 d'échange de chaleur, permet d'obtenir un courant frigorigène en cours de vaporisation sous la pression intermédiaire, circulant dans ledit passage, en sens vertical descendant dans l'échangeur 15, puis en sens vertical ascendant
10 dans l'échangeur 14. Ce courant constitué au départ par une partie de la deuxième autre fraction condensée, puis réuni successivement à une partie de la première autre fraction condensée et à la fraction condensée initiale, se vaporise et se réchauffe progressivement jusqu'à la température ambiante.

15 De même, l'introduction d'au moins une partie des différentes fractions condensées dans l'autre passage de vaporisation de l'autre ensemble d'échange de chaleur 22, permet d'obtenir un autre courant frigorigène en cours de vaporisation sous la basse pression, circulant dans ledit autre passage, en sens vertical descendant dans l'échangeur 23, puis en sens
20 vertical ascendant dans l'échangeur 24. Ce courant constitué au départ par la totalité de la troisième autre fraction condensée, puis réuni successivement à une autre partie de la deuxième autre fraction condensée et à une autre partie de la deuxième autre fraction condensée, se vaporise et se réchauffe progressivement jusqu'à la température ambiante, par échange de chaleur à
25 contre-courant avec du gaz naturel se refroidissant, se condensant, puis se sous-refroidissant, depuis la température ambiante jusqu'à une température finale froide de - 162 °C environ, sous une pression de 42 ata. Le gaz naturel a la composition suivante:

30 C1 = 83,2 %
C2 = 7,1 %
C3 = 2,2 %
C4 = 1,0 %
N2 = 5,8 %

35 Finalement, on recomprime l'autre courant frigorigène vaporisé dans l'étage 3 de compression, de la basse pression à la pression intermédiaire, puis ce dernier avec le courant frigorigène vaporisé dans l'étage 4 de compression, de la pression intermédiaire à la haute pression.

40 Afin d pouvoir régler la quantité de froid délivré par l'installation, en fonction de la quantité de chaleur injectée dans cette dernière,

c'est-à-dire en fonction du débit de gaz naturel à liquéfier, les circuits de recyclage ci-dessous sont prévus :

- 5 - Un premier circuit de recyclage 34 comportant une vanne de détente 38 à débit réglable dont l'amont communique avec la sortie gazeuse du séparateur 12 c du séparateur 12, et par conséquent avec la sortie gazeuse sous haute pression du compresseur 1, par l'intermédiaire des séparateurs 10, 11 et 12 et des conduits de condensation 16 et 17, et dont l'aval communique avec le passage de vaporisation de l'ensemble 13, plus précisément avec le conduit de liaison 71, et par conséquent avec l'entrée gazeuse du compresseur 1 sous la pression intermédiaire, par l'intermédiaire de la partie finale du passage de vaporisation et du conduit de retour 32,
- 10
- 15 - Un deuxième circuit de recyclage 35 comprenant une vanne de détente 39 à débit réglable dont l'amont communique avec la sortie gazeuse 12 c (ou dérivation gazeuse) du séparateur 12 sous haute pression, et dont l'aval communique avec l'autre passage de vaporisation de l'ensemble 22, et plus précisément avec la partie inférieure de l'intérieur de l'échangeur 23,
- 20 - Un troisième circuit de recyclage 36 comprenant une vanne de détente 40 à débit réglable dont l'amont communique avec le conduit 8 entre le refroidisseur 9 et le condenseur 7, et dont l'aval communique avec la partie inférieure de l'échangeur 14,
- 25 - Un quatrième circuit de recyclage 37 comprenant une vanne de détente 41 à débit variable dont l'amont communique avec le conduit de liaison 5 entre les étages de compression 3 et 4, et dont l'aval communique avec la partie inférieure de l'échangeur 24.
- 30 Il est également prévu un circuit de recyclage d'arrêt 42 à vanne de détente 70, autour de l'étage de compression 4, et un circuit de recyclage d'arrêt 43 à vanne de détente 44, autour de l'étage de compression 3.

35 Pour ces différents circuits de recyclage, les conduits correspondants ont une épaisseur telle que le rapport de leur rayon sur ladite épaisseur est au plus égal à 70.

40 On décrit ci-après différents modes de réglage de la quantité de froid délivrée par l'installation, en fonction de la quantité de chaleur injectée dans cette dernière, c'est-à-dire en fonction du débit de gaz

naturel à liquéfier. Ces différents modes sont obtenus selon la combinaison effectuée des différents circuits de recyclage décrits précédemment.

Selon un premier mode de réglage, on met en oeuvre le premier et les deuxième circuits de recyclage 34 et 35, ainsi que les circuits de recyclage 36 et 37. Pour décrire ce mode de réglage, on se référera à la figure 2 sur laquelle on a porté en abscisses la quantité de gaz naturel à liquéfier, exprimée en % de la production nominale de l'installation, et en ordonnées le débit total recyclé, exprimé en % d'un débit de référence de mélange de cycle, refoulé sous la haute pression par le compresseur 1, nécessaire pour liquéfier 107 % de la production nominale de gaz naturel liquéfié.

Pour comprendre le mode de réglage, on décrit ci-après ce qui se passe lorsque la production de gaz naturel liquéfié diminue.

Au départ l'installation délivre une quantité de froid correspondant au point de fonctionnement R_c , représenté en figure 2, c'est-à-dire à une production égale à 107 % de la production nominale. Dans ces conditions, la puissance consommée par le compresseur est de 73,5 mégawatts pour une vitesse de rotation de 3.680 tours/minute. Il est aspiré 400 tonnes/h par le premier étage de compression 3 et 1.046 tonnes/h pour le deuxième étage de compression 4.

Lorsque l'on diminue le débit de gaz naturel à liquéfier, depuis le point de fonctionnement R_c jusqu'au point de fonctionnement R_1 , correspondant à 93% de la production nominale, on règle le débit refoulé du mélange de cycle, en diminuant la vitesse de rotation du compresseur 1, et en modifiant l'orientation des ailetages statoriques du deuxième étage de compression 4. Au point de fonctionnement R_1 , la puissance consommée par le compresseur est de 58,6 mégawatts pour une vitesse de rotation de 3.200 tours/minute. Il est aspiré 345 tonnes/heure et 900 tonnes/heure, respectivement par les étages de compression 3 et 4.

A partir du point de fonctionnement R_1 , lorsque la production de gaz naturel liquéfié diminue, la vitesse de rotation du compresseur demeure constante et égale à 3.200 tours par minute (régime d'attente). A partir de R_1 , on met en oeuvre le circuit de recyclage 35. Dans ces conditions, un premier débit de recyclage est prélevé sous la haute pression, à la sortie gazeuse 12c du séparateur 12, sur le mélange de cycle résiduel sous forme gazeuse en cours de condensation fractionnée, (après séparation des première et seconde fractions condensées recueillies respectivement dans les séparateurs 11 et 12), puis détendu à la basse pression dans la vanne de détente 32, réuni à l'autre courant frigorigène dans le bas de l'échangeur 27, avant que ledit courant soit réchauffé jusqu'à la température ambiante, et finalement recomprimé à la haute pression dans le compresseur 1 avec ledit autre courant frigorigène vaporisé. La réunion du premier débit de

recyclage 35 avec l'autre courant frigorigène est effectuée après avoir réuni à ce dernier une partie de la première fraction condensée, détendue dans la vanne de détente 29. Entre les points de fonctionnement R_1 et R_2 , on règle le premier débit de recyclage depuis un débit minimum nul jusqu'à un débit de l'ordre de 3 % du débit de référence de mélange de cycle (courbe en traits pleins). De R_1 à R_2 , on modifie l'inclinaison de l'aubage statorique du deuxième étage de compression 4. Au point R_2 (87 % de la production nominale), 3 % environ du débit de référence du mélange de cycle sont recyclés par le circuit de recyclage 35. Dans ces conditions la puissance consommée par le compresseur 1 est de 55 mégawatts.

A partir du point de fonctionnement R_2 , la puissance consommée demeure constante et égale à 55 mégawatts. L'inclinaison de l'aubage statorique du deuxième étage de compression 4 demeure également constante à partir de R_2 . Lorsqu'on diminue la production de gaz naturel liquéfié à partir de R_2 , un deuxième débit de recyclage est prélevé, sous la haute pression, à la sortie gazeuse 12 c du séparateur 12, sur le mélange de cycle résiduel sous forme gazeuse, en cours de condensation fractionnée. Ce deuxième débit de recyclage 34 est ensuite détendu dans la vanne 39 de détente à la pression intermédiaire, réuni au courant frigorigène circulant dans le conduit 71, avant de réunir à ce dernier la fraction condensée initiale détendue à la pression intermédiaire dans la vanne de détente 19, et après avoir audit courant frigorigène une partie de la première fraction condensée détendue à la pression intermédiaire dans la vanne 20; le deuxième débit de recyclage est finalement recomprimé à la haute pression dans le deuxième étage de compression 4, avec les deux courants frigorigènes vaporisés. Le deuxième débit de recyclage 34, comme le premier débit de recyclage, est prélevé sur le mélange résiduel, après séparation des première et deuxième fractions condensées recueillies respectivement dans les séparateurs 11 et 12. De R_2 à R_3 , on règle le deuxième débit de recyclage 34 depuis une valeur minimum nulle jusqu'à une valeur maximum. Au point de fonctionnement R_3 , correspondant à la liquéfaction de 50 % de la production nominale de gaz naturel liquéfié, le premier débit de recyclage étant à sa valeur maximum, environ 35 % du débit de référence du mélange de cycle se trouvent recyclés à la fois par les circuits 34 et 35.

Lorsque la production de gaz naturel diminue à partir du point de fonctionnement R_3 , on met en œuvre simultanément les circuits de recyclage 36 et 37. Pour le circuit de recyclage 36, on prélève donc un troisième débit de recyclage sous la haute pression, sur le mélange de cycle comprimé circu-

lant dans le conduit 8, avant sa condensation partielle initiale en 7, et après avoir refroidi le dit mélange comprimé dans le refroidisseur 9. .

Puis on détend à la pression intermédiaire le troisième débit de recyclage 36 prélevé dans la vanne 40, et on réunit ce débit de recyclage détendu au courant frigorigène circulant dans l'échangeur 14, lorsque l'on réunit audit courant la fraction condensée initiale détendue à la pression intermédiaire dans la vanne de détente 19. Pour le circuit de recyclage 37, on prélève un quatrième débit de recyclage sous la pression intermédiaire, sur le mélange de cycle circulant dans le conduit 5 entre les deux étages de compression 3 et 4, après refroidissement dans le refroidisseur 6. Le quatrième débit de recyclage 37 ainsi prélevé est détendu à la basse pression dans la vanne de détente 41, et ce débit détendu est réuni à l'autre courant frigorigène avant son réchauffement jusqu'à la température ambiante, dans le bas de l'échangeur 24. De R_3 à R_0 , on règle et augmente simultanément le troisième débit de recyclage 36 et le quatrième débit de recyclage 37 depuis une valeur finale nulle jusqu'à une valeur initiale. Au point de fonctionnement R_0 la production de gaz naturel liquéfié est nulle, le débit total recyclé correspond à environ 80 % du débit de mélange de cycle de référence, et est substantiellement égal au débit refoulé par le compresseur lorsque celui-ci a une vitesse de rotation de 3 200 tours par minute.

Lorsque l'on augmente la production de gaz naturel depuis la production initiale nulle correspondant au point de fonctionnement R_0 jusqu'à la production maximum correspondant au point de fonctionnement R_c , on effectue les séquences de réglage décrites ci-dessus dans l'ordre inverse, chaque séquence étant effectuée en sens inverse.

La plage de fonctionnement comprise entre les régimes R_0 et R_3 correspond à un fonctionnement transitoire FT de l'installation frigorifique (démarrage et arrêt) pendant lequel on règle la quantité de froid délivrée par l'installation entre une quantité initiale nulle (R_0) et une quantité finale ou minimum (R_3). Dans cette zone de fonctionnement transitoire, pour diminuer la quantité de froid délivrée on augmente donc simultanément les troisième et quatrième débits de recyclage transitoire 36 et 37 jusqu'à un débit initial correspondant pour les débits recyclés 36 et 37 à un débit total d'environ 80 % du débit de référence.

Inversement, pour augmenter la quantité de froid délivrée pendant le fonctionnement transitoire, on diminue simultanément les débits de recyclage 36 et 37 jusqu'à un débit nul.

Lorsque la production de gaz liquéfié croît, après la zone de fonctionnement transitoire FT, l'installation entre dans une zone de fonctionnement permanent FP pendant laquelle on règle la quantité de froid délivrée entre la quantité maximum (R_0) et la quantité minimum ou finale (R_3).

5 Pendant le fonctionnement permanent de l'installation, entre les points de fonctionnement R_1 et R_3 , pour diminuer la quantité de froid délivrée, on augmente successivement le premier débit de recyclage permanent 35, puis au moins le deuxième débit de recyclage permanent 34, jusqu'à un débit maximum correspondant pour les deux vannes 34 et 35 à un débit recyclé total
10 de 35 % du débit de référence. Inversement, entre les points de fonctionnement R_1 et R_3 , pour augmenter la quantité de froid délivrée, on diminue successivement au moins le deuxième débit de recyclage 34, puis le premier débit de recyclage 35, jusqu'à un débit minimum nul.

15 Les débits de recyclage permanente 34 et 35 sont donc réglés à leur valeur maximum pendant le régime de fonctionnement transitoire.

Selon un deuxième mode de réglage, on met en oeuvre exclusivement les troisième et quatrième circuits de recyclage 36 et 37, et on règle les débits de recyclage correspondants.

20 Lorsque la production de gaz naturel liquéfié augmente depuis le point de fonctionnement R_0 (débit nul de gaz naturel) jusqu'au point de fonctionnement R_2 (débit maximum de gaz naturel), entre les points de fonctionnement R_0 et R_1 , on diminue depuis une valeur initiale jusqu'à une valeur minimum (nulle pour le débit de recyclage 36 et non nulle pour le débit de recyclage 37), simultanément les débits de recyclage 36 et 37
25 (courbe en traits pointillés). Puis à partir du point de fonctionnement R_2 , lorsque la production de gaz naturel liquéfié continue à augmenter, on diminue le débit de recyclage 37 jusqu'à une valeur nulle, et simultanément on modifie l'orientation de l'aubage statorique du deuxième étage de compression 4. Pour une production de gaz naturel décroissant entre R_0 et R_1 , on effectue
30 ces séquences de réglage en ordre inverse, chaque séquence étant effectuée en sens inverse.

REVENDEICATIONS

1° - Procédé de réglage d la quantité de froid délivrée par un cycle frigorifique dans lequel :

- 5 - on comprime au moins un mélange de cycle sous forme gazeuse d'une basse pression à une haute pression, en au moins une étape de compression,
- on condense initialement et partiellement au moins le mélange de cycle comprimé, par échange de chaleur avec un réfrigéra externe, et on sépare une fraction condensée initiale,
- 10 - on effectue sous la haute pression une condensation fractionnée d'au moins le mélange de cycle résiduel séparé de la fraction condensée initiale, par échange de chaleur à contre-courant avec un courant frigorigène du mélange de cycle, en cours de vaporisation sous une pression de vaporisation au moins égale à la basse pression, et on sépare une pluralité d'autres fractions condensées,
- 15 - on détend au moins une partie de chaque autre fraction condensée de la dite haute pression à la dite pression de vaporisation, et on réunit ladite partie détendue au dit courant frigorigène,
- on recomprime à la haute pression au moins le dit courant frigorigène vaporisé du mélange de cycle,
- 20 procédé dans lequel on règle au moins un débit de recyclage prélevé sur au moins le mélange de cycle sous une pression supérieure au plus égale à la haute pression, puis successivement détendu au moins en partie à une pression inférieure substantiellement égale à la pression de vaporisation et recomprimé avec ledit courant frigorigène vaporisé, caractérisé en ce qu'on réunit le
- 25 débit de recyclage détendu au courant frigorigène, au plus tard lorsque l'on réunit à ce dernier au moins une partie de la fraction condensée initiale détendue à la pression de vaporisation.

2° - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on réunit le débit de recyclage détendu au courant frigorigène, brsqe l'on réunit à 30 ce dernier la fraction condensée initiale détendue à ladite pression de vaporisation.

3° - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on réunit le débit de recyclage détendu au courant frigorigène, avant de réunir à ce 35 dernier la fraction condensée initiale détendue à la dite pression de vaporisation.

4° - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'on réunit le débit de recyclage détendu au courant frigorigène, après avoir réuni à ce dernier au moins une partie de la pr mière dite autre ffaction condensée, détendue à la pression de vaporisation.

40 5° - Procédé selon la revendication 1, caractérisé n ce qu'on

prélève au moins une partie du débit de recyclage sous une pression supérieure substantiellement égal à la haute pression, sur le mélange de cycle comprimé, avant sa condensation partielle initiale, et après avoir refroidi le dit mélange de cycle comprimé.

5 6°- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on prélève au moins une partie du débit de recyclage sous une pression supérieure substantiellement égale à la haute pression, sur le mélange de cycle résiduel sous forme gazeuse, en cours de condensation fractionnée.

10 7°- Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'on prélève la dite partie du débit de recyclage, sur le mélange de cycle résiduel, après séparation des première et deuxième dites autres fractions condensées.

8°- Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

15 - on comprime le mélange de cycle en deux étapes de compression séparées par une pression intermédiaire comprise entre la haute et la basse pression,
- on effectue la condensation fractionnée du mélange de cycle résiduel par échange de chaleur avec le courant frigorigène sous une pression de vaporisation substantiellement égale à la pression intermédiaire,
20 - on extrait de la chaleur d'un fluide externe, par échange de chaleur de ce dernier avec un autre courant frigorigène du mélange de cycle en cours de vaporisation sous une autre pression de vaporisation substantiellement égal à la basse pression,
- on détend une partie et une autre partie de chaque autre fraction condensée obtenue lors de la condensation fractionnée, respectivement à la pression
25 intermédiaire et à la basse pression, et on réunit les dites parties et autres parties détendues, respectivement au courant frigorigène et audit autre courant frigorigène,
- on recomprime le dit autre courant frigorigène vaporisé de la basse pression à la pression intermédiaire, puis ce dernier avec le dit courant frigorigène
30 vaporisé de la pression intermédiaire à la haute pression, caractérisé en ce qu'on règle au moins un autre débit de recyclage prélevé sur le mélange de cycle sous une pression supérieure au plus égale à la haute pression, puis successivement détendu au moins en partie à une pression inférieure substantiellement égale à la basse pression, réuni au dit autre courant frigorigène
35 avant que ce dernier soit réchauffé à la température ambiante, et recomprimé à la haute pression avec le dit autre courant frigorigène vaporisé.

9° - Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'on réunit l'autre débit de recyclage au dit autre courant frigorigène après avoir réuni à ce dernier la dite autre partie de la première dite autre
40 fraction condensée obtenue lors de la condensation fractionnée.

10°- Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'on prélève au moins une partie du dit autre débit de recyclage sous une pression supérieure substantiellement égale à la pression intermédiaire, sur le mélange de cycle entre les deux étapes de compression.

5 11°- Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'on prélève au moins une partie dudit autre débit de recyclage sous une pression supérieure substantiellement égale à la haute pression, sur le mélange de cycle résiduel sous forme gazeuse, en cours de condensation fractionnée.

10 12°- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour délivrer respectivement une quantité de froid relativement grande et une quantité de froid relativement petite éventuellement nulle, on règle au moins un débit de recyclage, respectivement à une valeur relativement petite éventuellement nulle et à une valeur relativement grande.

15 13°- Procédé selon la revendication 12, dans lequel on règle la quantité de froid délivrée dans une zone de fonctionnement permanent du cycle frigorifique, comprise entre une quantité maximum et une quantité minimum de froid à fournir, caractérisé en ce que, lorsque la quantité de froid à fournir diminue, on augmente au moins un débit de recyclage jusqu'à un débit maximum, et en ce que lorsque la quantité de froid à fournir augmente, on diminue au moins le dit débit de recyclage jusqu'à un débit minimum éventuellement nul.

20 14°- Procédé selon la revendication 12, dans lequel on règle la quantité de froid délivrée dans une zone de fonctionnement transitoire du cycle frigorifique, comprise entre une quantité initiale éventuellement nulle et une quantité finale de froid à fournir, caractérisé en ce que, lorsque la quantité de froid à fournir diminue, on augmente au moins un débit de recyclage jusqu'à un débit initial, et lorsque la quantité de froid à fournir augmente, on diminue au moins le dit débit de recyclage jusqu'à un débit final éventuellement nul,

30 15°- Procédé selon les revendications 13 et 14, dans lequel pour une quantité de froid à fournir, croissant depuis une valeur nulle jusqu'à une valeur maximum, le cycle frigorifique fonctionne successivement dans une zone de fonctionnement transitoire puis dans une zone de fonctionnement permanent, et inversement pour une quantité de froid à fournir décroissant depuis la valeur maximum jusqu'à la valeur nulle, la quantité minimum de froid à fournir du régime permanent étant égale à la quantité finale de froid à fournir du régime transitoire, caractérisé en ce qu'en régime permanent, on règle au moins un débit de recyclage permanent prélevé sur le mélange de cycle résiduel sous forme gazeuse en cours de condensation fractionnée, puis

35

40 successivement détendu à la pression de vaporisation et réuni au courant

frigorigène après avoir réuni à ce dernier au moins une partie de la première dite autre fraction condensée et avant d'avoir réuni au dit courant frigorigène au moins une partie de la fraction condensée initiale détendue à la pression de vaporisation, et en ce qu'en régime transitoire, on règle au moins un débit de recyclage transitoire prélevé sur le mélange de cycle comprimé après avoir refroidi et avant d'avoir condensé partiellement ce dernier, puis successivement détendu à la pression de vaporisation et réuni au courant frigorigène lorsque l'on réunit à ce dernier au moins une partie de la fraction condensée initiale détendue à la pression de vaporisation, le dit débit de recyclage permanent étant réglé à une valeur maximum pendant le dit régime transitoire.

16°- Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que, pour délivrer respectivement une quantité de froid relativement grande et une quantité de froid relativement petite éventuellement nulle, on règle au moins ^{l'un} des dits débits de recyclage, respectivement à une valeur relativement petite éventuellement nulle et à une valeur relativement grande.

17°- Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'on règle successivement le débit de recyclage et le dit autre débit de recyclage, ou inversement.

18°- Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'on règle simultanément le débit de recyclage et le dit autre débit de recyclage.

19°- Procédé selon les revendications 8 et 15, caractérisé en ce qu'en régime permanent, pour une quantité décroissante de froid à fournir, on règle successivement:

a) un autre débit de recyclage permanent prélevé sur le mélange de cycle résiduel sous forme gazeuse en cours de condensation fractionnée, puis successivement détendu à la basse pression et réuni à l'autre courant frigorigène avant que ce dernier soit réchauffé à température ambiante, depuis une autre valeur minimum éventuellement nulle jusqu'à une valeur supérieure.

b) puis au moins le dit débit de recyclage permanent depuis la dite valeur minimum éventuellement nulle jusqu'à la dite valeur maximum, et inversement pour une quantité croissante de froid à fournir, et en ce qu'en régime transitoire, pour une quantité décroissante de froid à fournir on règle simultanément le dit débit de recyclage transitoire, et un autre débit de recyclage transitoire prélevé sur le mélange de cycle sous la pression intermédiaire, entre les deux étapes de compression, puis successivement détendu à la basse pression et réuni à l'autre courant frigorigène avant que de dernier soit réchauffé jusqu'à la température ambiante, depuis une autre valeur initial éventuellement nulle jusqu'à une autre valeur finale, et inversement pour une quantité croissant de froid à fournir.

20°- Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que pour une quantité de froid à fournir croissant d puis une valeur initiale éventuellement nulle jusqu'à une valeur maximum, n diminue depuis une valeur initiale jusqu'à une valeur minimum éventuellement nulle, simultanément un
5 débit de recyclage prélevé sur le mélange de cycle comprimé, après avoir refroidi et avant d'avoir condensé partiellement ce dernier, puis successivement détendu à la pression intermédiaire et réuni au courant frigorigène lorsque l'on réunit à ce dernier au moins une partie de la fraction condensée
10 initiale détendue à la pression de vaporisation, et un autre débit de recyclage prélevé sur le mélange de cycle sous la pression intermédiaire, puis successivement détendu à la basse pression et réuni au dit autre courant frigorigène avant de réchauffer ce dernier jusqu'à la température ambiante, et inversement pour une quantité décroissante de froid à fournir.

21°- Installation frigorifique du genre comprenant :

- 15 - un moyen de compression comprenant au moins un étage de compression dont l'aspiration et le refoulement fonctionnent respectivement sous une basse pression et une haute pression,
- un condenseur dont l'entrée communique avec le refoulement du compresseur et comportant des moyens de circulation pour un réfrigérant externe,
- 20 - une pluralité de séparateurs disposés en série, comportant chacun une entrée une sortie liquide et une sortie gazeuse, l'entrée liquide du premier séparateur communiquant avec la sortie du condenseur,
- un ensemble d'échange de chaleur comprenant une pluralité de conduits de condensation disposés en série dont l'entrée communique avec la sortie
25 gazeuse d'un séparateur et dont la sortie communique avec l'entrée du séparateur suivant; un passage de vaporisation en relation d'échange thermique avec les dits conduits de condensation,
- une pluralité de moyens de détente dont l'amont communique avec la sortie liquide d'un séparateur et l'aval communique avec le passage de vaporisation,
- 30 - un conduit de retour dont l'amont communique avec le passage de vaporisation et l'aval communique avec une entrée gazeuse du moyen de compression sous une pression au moins égale à la basse pression,
- au moins un circuit de recyclage comportant au moins un moyen de détente à débit glisse dont l'amont communique avec une sortie gazeuse du moyen de
35 compression sous une pression supérieure au plus égale à la haute pression et dont l'aval communique avec ladite entrée gazeuse du moyen de compression sous une pression inférieure au moins égale à la basse pression, caractérisé en ce que l'aval du moyen de détente du circuit de recyclage communique avec le passage de vaporisation.

40 22°- Installation selon la revendication 21, du genre comprenant:

- un autre nsembl d'échange de chaleur comprenant un passage de condensation en relation d'échange thermique avec un autre passage de vaporisation,
 - une autre pluralité de moyens de détente dont l'amont communique avec la sortie liquide d'un séparateur et l'aval communique avec l'autre passage de vaporisation,
 - un autre conduit de retour dont l'amont communique avec l'autre passage de vaporisation et l'aval communique avec l'aspiration du moyen de compression, dans laquelle le moyen de compression comprend un premier étage et un second étage de compression, reliés entre eux par un conduit de liaison sous une pression intermédiaire, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un autre circuit de recyclage comprenant au moins un autre moyen de détente à débit réglable dont l'amont communique avec une dérivation gazeuse sous une pression supérieure au plus égale à la haute pression, et dont l'aval communique avec l'autre passage de vaporisation sous une pression inférieure.
- 23°- Installation selon la revendication 21, caractérisée en ce que le rapport du rayon et de l'épaisseur des conduits d'au moins un circuit de recyclage, est au plus égal à 70.

FIG.1

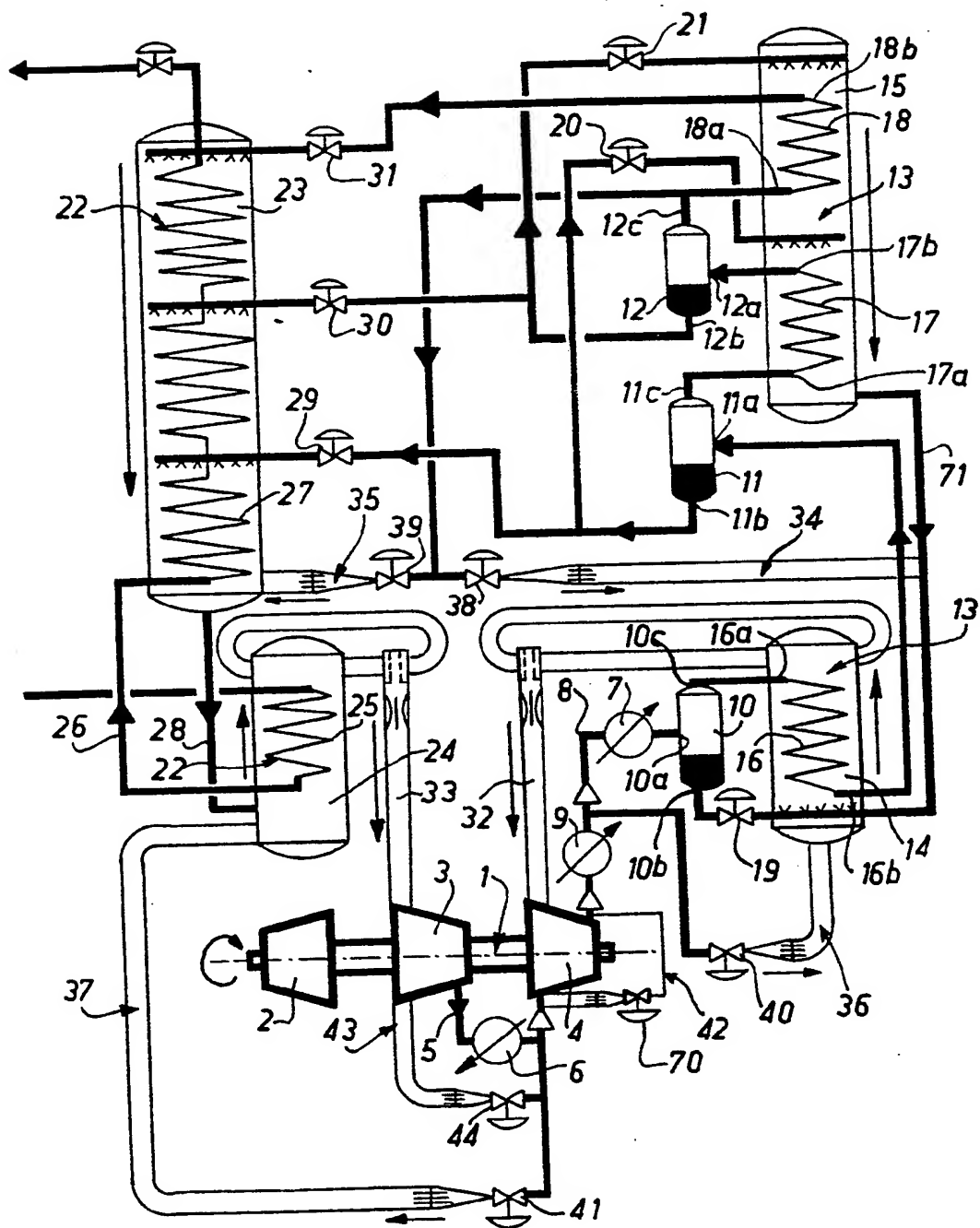


FIG.2

